

# 白光干涉在保偏光纤测量与 对轴中的应用

张靖华

王春华 黄肇明

(上海科技专科学校机械系, 上海 201800) (上海科技大学波科学实验室, 上海 201800)

**摘 要** 本文根据白光干涉原理, 研究了保偏光纤偏振色散和耦合系数的测量, 保偏光纤连接时主轴夹角的调整, 并获得了满意的实验结果. 还对白光干涉技术在保偏光纤传感和器件方面的应用作了初步的讨论.

**关键词** 保偏光纤, 偏振色散.

## 1 引 言

近年来, 白光干涉原理在单模光纤色散, 保偏光纤偏振色散和耦合系数的测量, 保偏光纤传感技术及其器件的研制等广泛领域获得了成功的应用<sup>[1~4]</sup>.

白光干涉是指宽谱光源干涉技术. 根据傅里叶光学理论, 干涉仪光程的不平衡可看作是对传输光光谱的一种调制或“编码”<sup>[5,6]</sup>. 解调的方法有两种<sup>[7]</sup>. 一种是对干涉仪输出信号作频谱分析, 从而得到待测光纤参数或被传感量的信息, 但需复杂的信号分析系统. 二是采用另一个干涉仪(称之为解调干涉仪), 通过改变其两臂光程差来补偿测量干涉仪的光程差. 根据干涉峰的位置和幅度来求得待测参数即解调. 本文介绍的白光干涉系统是将单模保偏光纤中两束正交偏振模看作测量干涉仪的两臂, 用迈克尔逊干涉仪解调. 对保偏光纤偏振色散及模间耦合系数进行精确测量; 并实现保偏光纤间主轴夹角准确调整, 同时还对影响保偏光纤偏振特性的外界扰动的传感进行了研究.

## 2 系统及原理

白光干涉系统如图 1 所示. 光源为 SLD, 光束起偏器 P, 进入迈克尔逊干涉仪, 其中一束光往返两次通过  $\lambda/4$  波片. 因此, 迈克尔逊干涉仪输出两束正交线偏振光耦合到保偏光纤 1.  $\lambda/2$  波片用来改变输入光偏振方向与保偏光纤主轴间夹角  $\alpha$ . 光纤 2 的输出经  $45^\circ$  检偏后由探测器 D 接收、放大并记录. 两保偏光纤连接及偏振光的传输情况如图 2 所示.  $\beta$  为光纤主轴间夹角. 迈克尔逊干涉仪输出的两束正交线偏振光的电场矢量幅度可记为  $E_r(t+T)$  和  $E_s(t)$ ,  $T$  为两臂光延时差. 则在光纤 1 输出端激励的  $LP_{01}$  模场幅度为

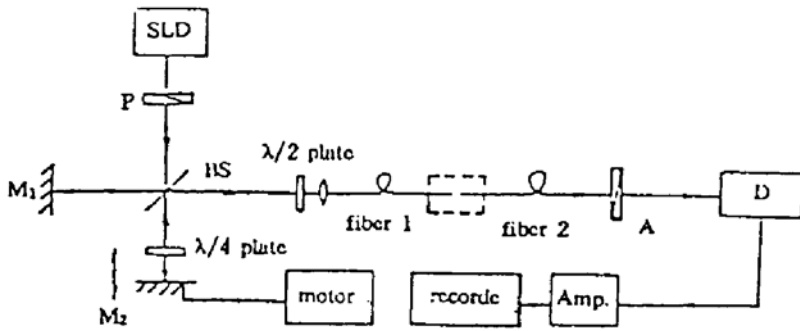


Fig. 1 Experimental setup

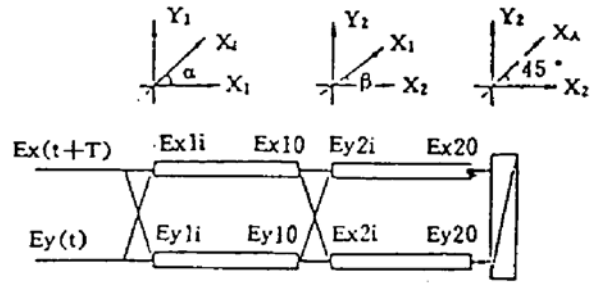


Fig. 2 Schematic diagram of light propagation through fibers

$$E_{x1i} = E_x(t + T)\cos \alpha - E_y(t)\sin \alpha, \quad E_{y1i} = E_x(t + T)\sin \alpha + E_y(t)\cos \alpha \quad (1)$$

设  $\tau_1$ 、 $\tau_2$  分别为光纤 1、2 的偏振时延差，则不难求得光纤 2 输出端  $LP_{01}$  模的电场幅度

$$\begin{aligned} E_{x20} &= E_x(t + T + \tau_1 + \tau_2)\cos \alpha \cos \beta - E_y(t + \tau_1 + \tau_2)\sin \alpha \cos \beta \\ &\quad - E_x(t + T + \tau_2)\sin \alpha \sin \beta - E_y(t + \tau_2)\cos \alpha \sin \beta \\ E_{y20} &= E_x(t + T + \tau_1)\cos \alpha \sin \beta - E_y(t + \tau_1)\sin \alpha \sin \beta \\ &\quad + E_x(t + T)\sin \alpha \cos \beta + E_y(t)\cos \alpha \cos \beta \end{aligned} \quad (2)$$

探测器接收光强

$$\begin{aligned} I &= (1/2)\langle (E_{x20} + E_{y20})(E_{x20} + E_{y20})^* \rangle \\ &= (1/2)\{ [R(T + \tau_1 - \tau_2) + C.C.] \cos^2 \alpha + [R(T - \tau_1 - \tau_2) + C.C.] \sin^2 \alpha \} \cos^2 \beta \\ &\quad + (1/2)\{ R(T + \tau_1 - \tau_2) + c.c \} \sin^2 \alpha + [R(T - \tau_1 + \tau_2) + C.C.] \cos^2 \alpha \} \sin^2 \beta \\ &\quad - (1/4)[R(T - \tau_2) + R(T + \tau_2) + C.C.] \sin^2 \alpha \sin^2 \beta \end{aligned} \quad (3)$$

式中  $\langle \dots \rangle$  表示求时间平均， $R(\dots)$  为光场的互相关函数， $C.C$  表示复数共轭项。这里忽略了耦合损耗和传输损耗，不影响问题的讨论。由互相关理论可知，在迈克尔逊干涉仪中反射镜  $M_2$  的移动过程中，当  $T = \pm(\tau_1 + \tau_2)$ 、 $\pm(\tau_2 - \tau_1)$ 、 $\pm\tau_2$  时光强  $I$  出现相应的干涉峰。其幅度由  $\alpha$ 、 $\beta$  决定。根据这些干涉峰的位置和幅度，即可得  $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  等信息。由于使用宽谱光源，干涉峰宽度很窄，具有很高的分辨率。而且，干涉峰的位置和相对幅度不受光强度变化的影响，工作稳定性好，测试精度高，动态范围大、系统简单。

### 3 实验结果

#### 3.1 偏振色散及耦合系数的测量

这时只有光纤 1.  $\beta = 0$ ,  $\tau_1 = \tau$ . (3) 式简化为

$$I = (1/2)\{ [R(T + \tau) + C.C.] \cos^2 \alpha + [R(T - \tau) + C.C.] \sin^2 \alpha \} \quad (4)$$

$\alpha = 45^\circ$  时，在  $T = \pm\tau$  处出现两干涉峰(图 3)。反射镜  $M_2$  与此相应移过距离  $d$ ，光纤长为  $L$ ，则偏振色散  $D = \tau/L = d/Lc$ ,  $c$  为真空中光速。保偏光纤偏振模时延差  $\tau$  和偏振耦合系数  $h$  之间的关系为<sup>[8]</sup>

$$\tau = [(1/\Gamma_s) - (1/\Gamma_p)] [(1 - \exp(-2hL))/2h], \quad (5)$$

式中  $\Gamma_s$ 、 $\Gamma_p$  为  $LP_{01}$  模的群速度。若光纤足够短，满足  $hL \ll 1$ ，即可忽略模间耦合，偏振色散记为  $D_s = (1/\Gamma_s) - (1/\Gamma_p)$ 。对于模间耦合不可忽略的较长光纤，偏振色散  $D_L$  可用  $D_s$  表示为

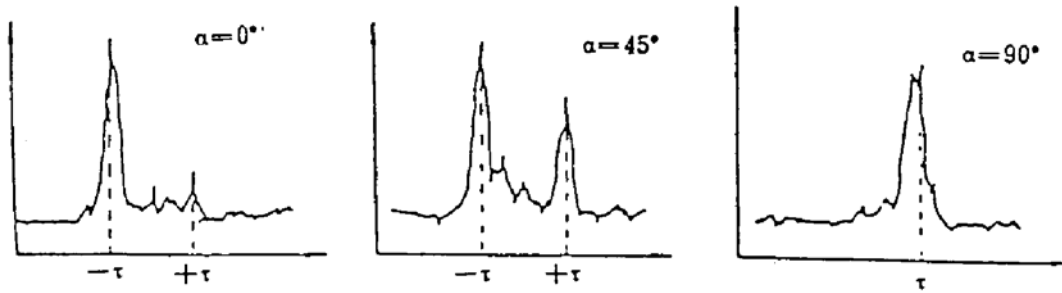


Fig. 3 Interferometric peaks used to determine polarization dispersion

$$D_L = D_s[1 - \exp(-2hL)]/2h, \quad (6)$$

分别测出  $D_s$ 、 $D_L$ ，由上式可求参数  $h$ 。由上面讨论可知，模间耦合不能忽略时，偏振色散与长度有关。表 1 列出某椭圆包层光纤的测试结果。

Table 1

$L$ (m)	7.51	10.85	23.32	29.20	156.60	173.00
$\tau$ (ps)	0.371	0.535	1.12	1.43	6.08	6.54
$D$ (ps/km)	49.3	49.3	48.2	49.0	39.0	38.0

并可求得  $h = 3.95 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ 。图 3 示出长为  $L = 23.3 \text{ m}$  的光纤， $\alpha = 0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$  干涉峰曲线。光源中心波长为  $833 \text{ nm}$ ，相干长度为  $63 \mu\text{m}$  (下同)。分辨率约为  $0.1 \text{ ps}$ 。

### 3.2 保偏光纤间主轴夹角调整

当入射光偏振方向与光纤 1 主轴重合，即  $\alpha = 0^\circ$  时，(5) 式化简为

$$I = (1/2) \{ [R(T + \tau_1 + \tau_2) + C.C] \cos^2 \beta + [R(T - \tau_1 + \tau_2) + C.C] \sin^2 \beta \} \quad (7)$$

显然， $\beta$  为任意角度时，出现两幅度不等的干涉峰。 $\beta = 45^\circ$ ，两干涉峰幅度相等， $\beta = 0^\circ$  或  $90^\circ$  时其中一干涉峰消失，而另一干涉峰幅度达到最大。再根据干涉峰幅度与  $\beta$  的关系，借助于机械装置实现任意夹角连接。这样做具有明显的优点。因为在  $\beta = 45^\circ$  附近， $\beta$  变化引起干涉峰幅度变化最灵敏，且两干涉峰幅度适中。这样不但提高了对接精度，而且大大降低了对接收系统的灵敏度、信噪比、线性度、动态范围等要求。

图 4 为  $\beta$  调整过程中干涉峰幅度变化过程，图中所注角度为光纤连接处旋转机构角度读数。图 4(a) 为调整前  $\beta$  为一随机未知角度时两干涉峰幅度，与  $T = \tau_1 - \tau_2$  对应的干涉峰淹没于噪声之中，估计  $\beta$  在  $0^\circ$  左右；为此，将光纤 2 转过  $50^\circ$ ，重复测试，得干涉峰图 (图 4(b))，这时与  $T = \tau_2 - \tau_1$  对应干涉峰幅度反而高于与  $T = \tau_1 + \tau_2$  所对应的干涉峰的幅度；分析可知，上次旋转角度过大，再将光纤 2 反向旋转  $10^\circ$ ，得干涉峰图 4(c)。这样一直进行到两干涉峰幅度相等时为止 (图 4(e))，由图可知，仅经过四次调整，就达到  $\beta = 45^\circ$  要求。精度为  $\pm 0.5^\circ$ ，这是由探测器的分辨率和旋转机构的精度共同保证的。图 4(f)，图 4(g) 为  $\beta = 90^\circ$  和  $0^\circ$  时情形。

**讨论和结论** 应用白光干涉原理，对保偏光纤模间色散和耦合系数的测量，保偏光纤间主轴夹角调整作了深入的研究。该系统具有结构简单、精度高、动态范围大 ( $0.1 \text{ ps} \sim 10^3 \text{ ps}$ ) 和重复性好等优点，色散连续 50 次重复测量方差小于  $0.01 \text{ ps}$ ，主轴夹角调整重复性偏差远小于  $0.5^\circ$ 。此外，本系统在下述几方面有着潜在的应用前景。两光纤主轴夹角的调整为研制偏振耦合器、退偏器等创造了条件。在测量色散中光纤某一点施一横应压力，外力引起两正交传输模间能量交换，可等效为在加外力处主轴间有一夹角  $\beta$  的两光纤对接的情况。当  $\alpha = 45^\circ$

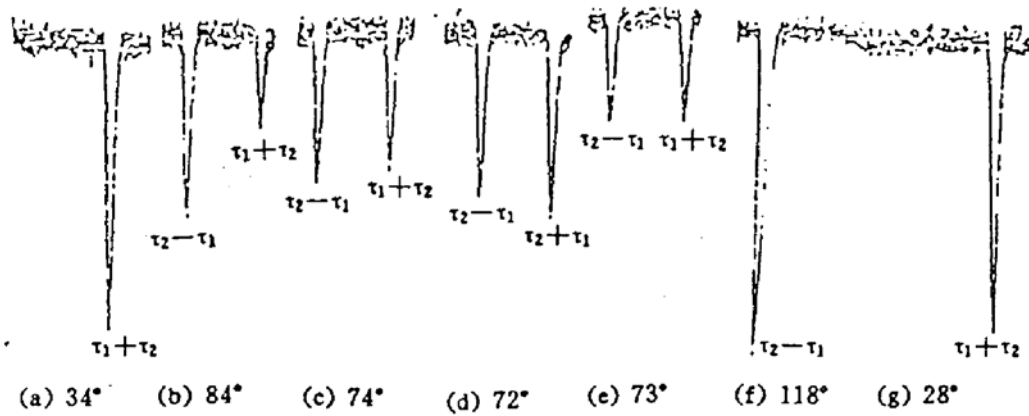


Fig. 4 Alignment adjusting procession

时, 由(3)式知, 将出现 6 个干涉峰, 根据它们的位置可确定施加外力的位置. 得到的初步实验结果, 可望用于检测光缆中异常应变点位置. 此外, 干涉峰包络随反射镜  $M_2$  微小位移而变化这一现象, 可用来作微位移或能转换为微位移的物理量、如温度、压力等微小变化的传感. 最后, 光源光谱的不连续性, 干涉峰呈周期性, 这可设想用于多路传感.

### 参 考 文 献

- [1] M. Tsubokawa, T. Higashi, Y. Sasaki, Measurement of mode couplings and extinction ratio in polarization-maintaining fibers. *J. Lightwave Technol.*, 1989, 7(1): 45~50
- [2] H. Barfuss, E. Brinkmeyer, Modified optical frequency domain reflectometry with high spatial resolution for components of integrated optic systems. *J. Lightwave Technol.*, 1989, 7(1): 3~10
- [3] R. Ulrich, Interferometric and polarimetric sensors using white-light interferometry. *OFS' 1989*, Berlin, Springer-Verlag, 1989: 62~63
- [4] P. Merritt, R. P. Tatam, D. A. Jackson, Interferometric chromatic dispersion measurements on short lengths of monomode optical fiber. *J. Lightwave Technol.*, 1989, 7(4): 703~716
- [5] 吕乃光, 傅里叶光学. 第一版, 北京, 机械工业出版社, 1988, 146~156
- [6] P. Sansonetti, M. Lequime, H. Giovannini, Interferometric spectrally encoded sensor using a superradiant diode. *OFS' 1989*, Berlin, Springer-Verlag, 1989: 71~77
- [7] D. Trouchet, B. Laloux, Graindorge, Prototype industrial multi-parameter F. O. Sensor using white light interferometry. *OFS' 1989*, Berlin, Springer-Verlag, 1989: 227~233
- [8] S. Kawakami, M. Ikeda, Transmission characteristics of a two-mode optical waveguide. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1978, 14(8): 608~614

## Application of White-Light Interference in Measurement and Principal Axes Alignment of Polarization-Maintaining Fibers

Zhang Jinghua

(Mechanical Department, Shanghai College of Science and Technology, Shanghai 201800)

Wang Chunhua      Huang Zhaoming

(Wave Science Laboratory, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 201800)

(Received 8 September 1992; revised 2 November 1992)

**Abstract** In this paper the measurement of polarization dispersion and coupling coefficient, and the principal axes alignment of polarization-maintaining fibers (PMF) are studied on the basis of white-light interference principle. The satisfactory experimental results are attained. The application of white-light interference technique in sensing and components of PMF's are also discussed preliminarily.

**Key words** polarization-maintaining fiber, polarization dispersion.